

Refotografie na mobilním zařízení

Adam Červenka



Abstrakt

Pořizování fotografií podle historických snímků je předmětem zájmu jak pro fotografy, tak i badatele a výzkumníky. Tímto způsobem lze pozorovat vývoj místa, případně jeho okolí, v časovém rozmezí. Problém nastává v případě nalezení stejného pohledu jako u referenčního snímku. Nalezení totožného pohledu se obvykle řeší jen manuálně. Fotografové se v takovém případě musí spoléhat na odhad a fotografický um. Tento způsob může být nepřesný a pro fotografa značně nepohodlný. Řešením může být algoritmus pro výpočet refotografie.

Samotný proces refotografie přináší z pohledu počítačového vidění mnoho problémů a překážek. Už samotná historická fotografie představuje hned několik komplikací. Referenční fotografie je pořízená na neznámém fotoaparátu nebo referenční místo může být příliš změněné. Mohou zde být také jiné faktory, které porovnání referenčního a aktuálního snímku komplikují.

K řešení zmíněných problémů byly využity znalosti 3D rekonstrukce scény a postupy z oboru počítačového vidění za využití knihovny OpenCV. Návrh aplikace, zvolené postupy a algoritmy vychází z článku Computational rephotography [1], který se touto problematikou refotografie zabývá. Cílem práce je poskytnout uživateli navigaci na pozici historického fotoaparátu.

Klíčová slova: Refotografie — Android — OpenCV — 3D rekonstrukce — Real-time aplikace

Příložené materiály: N/A

*xcerve16@stud.fit.vutbr.cz, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology

1. Úvod

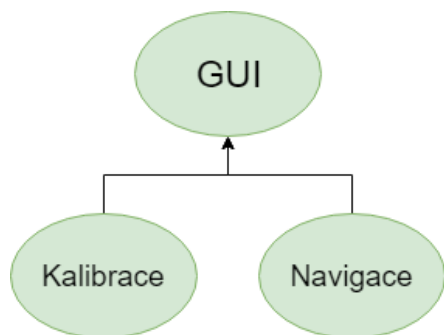
Refotografování je moderní trend, který spočívá ve znovu vyfotografování stejného místa, zpravidla dle předlohy představující historický snímek. Od prvních fotoaparátů uplynula velká řádka let a první fotografie jsou němými svědky mnohdy více, jak stoleté minulosti. Aniž bychom si to uvědomovali, zachycená místa našeho okolí si prošla dlouhou cestou a patřičnými proměnami. Jestliže se porovná sto let stará fotografie se současným místem, lze dospět k pozoruhodným závěrům.

Celé řešení by mělo být především výpočetně rychlé a výsledek by měl odpovídat totožnému pohledu, jako u historického snímku. Refotografický

nástroj je unikátní, nicméně odhad polohy fotoaparátu a scény struktur z několika snímků je již dlouho problémem v počítačové komunitě. Byly vyvinuty projekty zabývající se touto problematikou. Jedním z nich je nástroj Bundler [2]. Jedná se o nástroj napsaný v jazyce C++, který se zaměřuje na 3D rekonstrukci na základě shluku snímků. Nejblíže k refotografickému nástroji má projekt využívající historické fotografie s názvem 4D Cities (www.cc.gatech.edu/4d-cities). Cílem 4D Cities je rozpoznat budovy z historických snímků a provést jejich 3D rekonstrukci.

Z pohledu počítačového vidění je tento proces velmi komplikovaný a není uspokojivě vyřešen.

Porovnání dvou fotografií se mnohem komplikuje, jestliže se jedná o starší fotografii. Nastávají hned dva hlavní problémy. První z nich je, že parametry historického fotoaparátu, jako například optický střed a ohnisková vzdálenost nejsou k dispozici. Druhý problém obnáší, že historické místo se od současného může značně lišit. Nástroj pracuje jako real-time aplikace, což přináší další komplikace. Celý výpočet refotografie by se měl provádět dostatečně rychle, aniž by se to výrazně projevilo na přesnosti algoritmu.



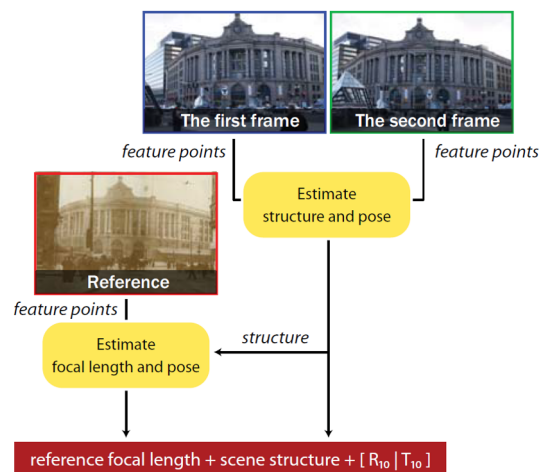
Obrázek 1. Schéma návrhu

Řešení refotografického algoritmu lze rozdělit na dvě části (viz obr. 1). První částí je výpočet kalibračních parametrů neznámého fotoaparátu (viz sekce 2). V této části se také provádí 3D rekonstrukce na základě dvou snímků pořízených uživatelem. Druhou částí je navigace uživatele k cílové pozici fotoaparátu (viz sekce 3). Pracuje se v reálném čase a provádí se výpočet relativní matice vzhledem k historické a aktuální pozici fotoaparátu. Výsledkem je fotografie ze stejného místa jako u referenčního snímku. (viz sekce 4).

2. Kalibrace neznámého fotoaparátu

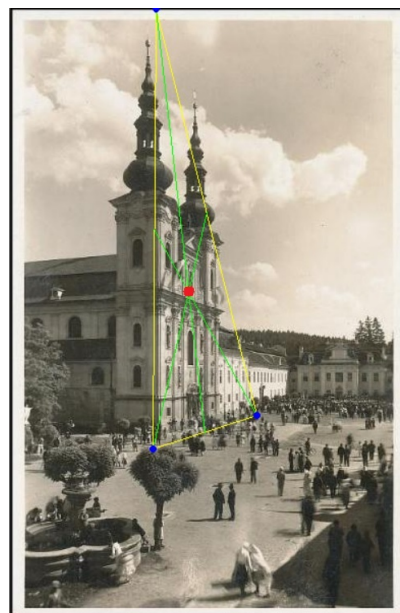
Prvním krokem refotografického algoritmu je kalibrace neznámého historického fotoaparátu. Předpokládá se, že uživatel pořídí dva snímky z místa, které odhadem určí jako referenční pozici. Jednou z podmínek pro správné fungování refotografického algoritmu je, že uživatel stojí na jednom místě. Uživatelem pořízené snímky musí být z rozdílného úhlu pohledu (odhadem o 20 stupňů) [1]. Na základě pořízených snímků se provede triangulace, která vytvoří 3D rekonstrukci scény [3]. Aby se minimalizovala projekční chyba, je provedena optimalizace parametrů neznámého fotoaparátu. Výsledkem celého výpočtu je pozice historického fotoaparátu vzhledem k prvnímu pořízenému snímku.

Dva snímky jsou požadovány kvůli široké základní linii (baseline). Široký základ zlepšuje přesnost a stabilitu 3D rekonstrukce [1]. Předpokládá se, že současný fotoaparát je zkalibrovaný. Postup 3D rekon-



Obrázek 2. Schéma procesu kalibrace [1]

strukce lze popsat následovně. Pomocí funkce SIFT [4] se detekují a popíší důležité body (features points) na obou snímcích. Pro každý bod je nalezen nejbližší soused a pomocí metody RANSAC se odhadne fundamentální matice [5]. Rozkladem fundamentální matice a výpočtem esenciální matice se vypočítá rotační a translační vektor. Vzhledem k projekci dvou fotoaparátů se rekonstruují 3D souřadnice každého bodu za použití triangulace [3]. Zpracované 3D body se promítají do druhého pohledu a zobrazí se uživateli v referenčním snímku. Uživatel je vyzván k označení šesti až osmi bodů. Správná 3D rekonstrukce je první předpoklad ke správnému výpočtu refotografického nástroje.



Obrázek 3. Znázornění výpočtu optického středu

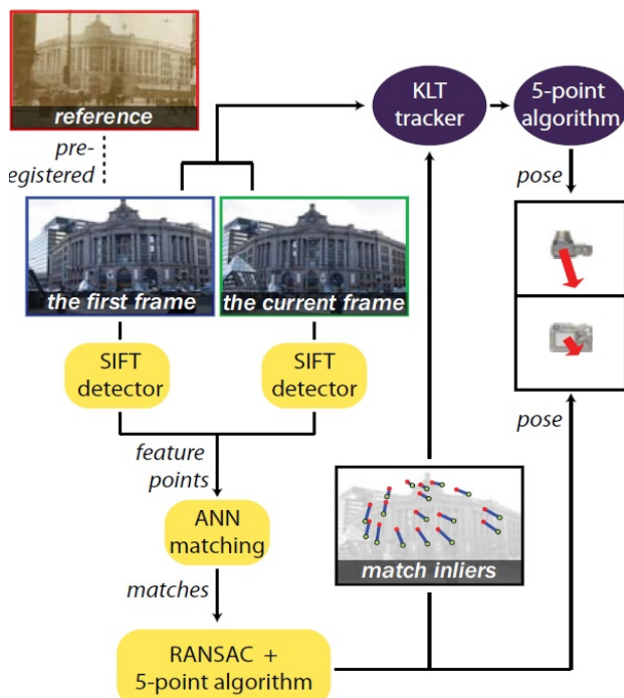
Optický střed je jeden z parametrů pro odhad pozice historického fotoaparátu pomocí PnP metody [6]. Jeho výpočet probíhá následovně. Pomocí MSAC metody [5] jsou nalezeny tři úběžníky (vanishing

points), které tvoří pomyslné vrcholy trojúhelníku. Z každého vrcholu je vedena těžnice na protější stranu trojúhelníku, hledaný optický střed leží v průsečíku těchto těžnic (viz obr. 3). Vnitřní parametry historického fotoaparátu tvoří vypočítaný optický střed a +ohnisková vzdálenost aktuálního fotoaparátu.

Hledaná pozice historického fotoaparátu je následně odhadnuta algoritmem PnP [6] na základě uživatelem definovaných korespondencí. Pro následnou navigaci uživatele k nalezené pozici historického fotoaparátu je nutné v reálném čase aktualizovat pozici fotoaparátu (viz sekce 3).

3. Navigace v reálném čase

Refotografický nástroj poskytuje uživateli v reálném čase navigaci směrem k referenčnímu snímku. K tomu se musí vypočítat relativní matice definující vztah mezi aktuálním a referenčním pohledem. Samotná navigace probíhá pro uživatele v podobě šipek směřujících k referenční pozici. Hlavním kritériem algoritmu je především zajištění dostatečné výpočetní rychlosti, aby pro každý snímek mohla být vyhodnocena aktuální pozice. K dosažení výkonu v reálném čase se prokládá pomalý robustní odhad s rychlým odhadem získaným pomocí KL trackeru [7] (viz obr. 4).

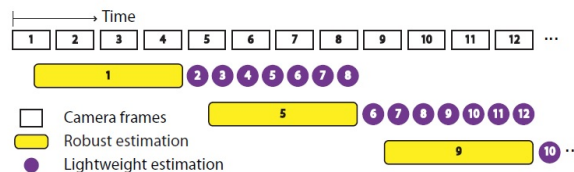


Obrázek 4. Schéma procesu navigace [1]

Nejprve se provede robustní odhad. Z předchozího výpočtu jsou známy klíčové body (features points) prvního pořízeného snímku. Ty jsou porovnávány s klíčovými body aktuálního snímku. Pro nalezení nejbližšího souseda byl zvolen Flann matching pro svou

výpočetní rychlost [1]. Po aplikování PnP metody [6] je na výslednou matici rotace a translace aplikován kalmanův filtr [8].

Robustní odhad je pomalý a pro uživatele by aplikace pracovala plynule. Z toho důvodu je pomalý robustní odhad prokládán rychlým lehkým odhadem. Lehký odhad pracuje s metodou Lucas-Kanade [7], která odhadne směr pohybu. Oba odhady pracují ve dvou vláknech s tím, že mezitím co probíhá robustní odhad se provede šest odhadů lehkých (viz obr. 5).



Obrázek 5. Prokládání odhadů [1]

Výpočet relativní matice (rev_T) reprezentující rozdíl mezi pozicí historického (ref_T) a aktuálního fotoaparátu ($current_T$) je následovný:

$$rev_T = current_T^{-1} * ref_T.$$

Výsledná projekční matice zahrnuje rotační a translační matice. Pro potřeby nástroje je podstatný především translační matice a to především pozice X a Y. Výsledek je vizualizován a vykreslen uživateli.

4. Dosažené výsledky

Pro testování implementované aplikace byly pořízeny fotografie mobilním zařízením nVidia SHIELD. Cílené objekty byly především známé historické budovy z prostředí Brna. Při testování bylo použito celkem 20 historických fotografií a 150 fotografií pořízených již zmíněným zařízením nVidia SHIELD. Pro ukázkou byla zvolena černobílá fotografie Biskupského dvora (viz obr. 6).



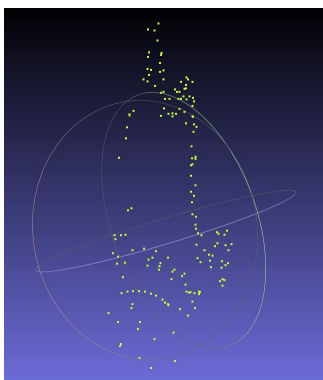
Obrázek 6. Historický snímek Biskupského dvora

Fotograf zde zachytil Biskupský palác a v pozadí Katedrálu svatého Petra a Pavla. V takovém případě fotograf přijde na přibližné místo pořízené fotky a pořídí dva snímky (viz obr. 7).



Obrázek 7. Pořízené snímku Biskupského dvora

Na příkladu je vidět, že druhý snímek je mírně z odlišného úhlu. Řídkou 3D rekonstrukci lze demonstrovat v programu MeshLab (viz obr. 8). Následně je fotograf navigován k cíli pomocí popsaného algoritmu (viz obr. 9).



Obrázek 8. 3D rekonstrukce Biskupského dvora

Refotografický nástroj vyhodnotí nejlepší snímek (viz obr. 10).



Obrázek 9. Použití navigace

Výsledek závisí na fotografově určení počátečního místa. Nutností je správné zachycení místa ve dvou mírně odlišných fotografiích. Výsledek se může lišit podle toho, nakolik přesně fotograf určí korespondenční

body. Tyto body ovlivní výslednou fotografii a její určení.



Obrázek 10. Refotografie Biskupského dvora

Refotografický nástroj lze také demonstrovat na pohlednici Mahenova divadla, kde je uvedena jeho kresba z konce 19. století (viz obr. 11). Po stejném postupu uvedeném výše, nástroj označil nejvhodnější snímek, který lze označit jako refotografie (viz obr. 12).



Obrázek 11. Historický snímek Mahenova divadla



Obrázek 12. Aktuální snímek Mahenova divadla

Aplikace je určená pro mobilní zařízení s operačním systémem Android.

5. Závěr

Tato práce si klade za cíl usnadnit proces refotografie a nabídnout tak možnost porovnání míst v různém časovém období. Cílem bylo pomocí existujících metod počítačového vidění vytvořit plně funkční refotografický algoritmus, který umožní uživateli pro danou historickou fotografii pořídit co možná nejvíce podobný aktuální snímek.

Fotograf je v mnoha ohledech omezen při pořizování potřebných snímků. Původní místo

pořízení historické fotografie nemusí být vlivem stavebních prací dostupné. Při pohledu na fotografický objekt se může objevit překážka. Častým jevem jsou vzrostlé stromy nebo nově vybudované stavby. S kresbami a malbami problémy narůstají. Aplikace vyžaduje interaktivitu ze strany fotografa pro nalezení odpovídající refotografie (uživatel musí manuálně zadat body korespondence). Implementovaná aplikace dospěje k požadovanému závěru jen za určitých podmínek: nástroj nepřipouští zoom a na počátku procesu je nutné správně pořídit dva snímky dle instrukcí.

Samotný nástroj najde své využití jak u amatérských badatelů, přes historiky, až po výzkumníky mapující vývoj důležitých míst. Pátrání po minulosti je předmětem seriózních vědeckých článků, tak i obecních kronikářů. Refotografický nástroj je jedna z možností, jak lépe představit stavební vývoj a proměny životního prostředí v průběhu času.

Budoucí vývoj se může ubírat hned několika směry. První směr by mohl vést k výpočtu pozice kamery i v mnohem komplikovanějších případech. Opěrným bodem by byla jen malá část scény zachycená na historické fotografii a zároveň zachovalá do současnosti. Druhý směr by mohl představovat zpracování výsledné fotografie vzhledem k referenčnímu snímku. Aktuální snímek by mohl být převeden do historického snímku a naopak. Výsledné transformace by mohly sloužit jak k porovnávání, tak k vyhodnocování možných závěrů. Tímto tématem se zabývá článek Generalized As-Similar-As-Possible Warping with Applications in Digital Photography [9].

Literatura

- [1] Soonmin Bae, Aseem Agarwala, and Frédo Durand. Computational rephotography. *ACM Trans. Graph.*, 29(3):24:1–24:15, July 2010.
- [2] Bundler: Structure from motion (sfm) for unordered image collections.
- [3] Richard Hartley and Andrew Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2 edition, 2003.
- [4] Sift: Scale invariant feature transform.
- [5] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Commun. ACM*, 24(6):381–395, June 1981.
- [6] V. Lepetit, F. Moreno-Noguer, and P. Fua. Epanp: An accurate $O(n)$ solution to the pnp problem. *International Journal Computer Vision*, 81(2), 2009.
- [7] Bruce D. Lucas and Takeo Kanade. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. In *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume 2, IJCAI'81*, pages 674–679, San Francisco, CA, USA, 1981. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [8] R. Faragher. Understanding the basis of the kalman filter via a simple and intuitive derivation [lecture notes]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 29(5):128–132, Sept 2012.
- [9] Renjie Chen and Craig Gotsman. Generalized As-Similar-As-Possible Warping with Applications in Digital Photography. *Computer Graphics Forum*, 2016.